

О. В. ЧАЛА**РОЗРОБКА ПРЕДСТАВЛЕННЯ ЗНАНЬ НА ОСНОВІ МАРКІВСЬКИХ ЛОГІЧНИХ МЕРЕЖ В СИСТЕМІ ПРОЦЕСНОГО УПРАВЛІННЯ**

Досліджено проблему побудови представлення знань в системі процесного управління на основі аналізу поведінки бізнес-процесів, що представлена у вигляді логів подій. Кожна подія характеризує дію бізнес-процесу. Актуальність проблеми визначається тим, що при управлінні складними знання-ємними бізнес-процесами виконавці можуть змінювати послідовність дій з урахуванням додаткових знань про предметну область. В результаті виникає невідповідність між процесом та його моделлю, що створює труднощі для подальшого управління бізнес-процесом. Для усунення вказаної невідповідності потрібно формалізувати ці додаткові знання та використовувати їх при процесному управлінні, що потребує створення відповідного представлення знань. Запропоновано модель представлення знань враховує статичні й динамічні характеристики бізнес-процесу. Статичні характеристики бізнес-процесу задаються фактами та правилами із аргументами, представленими атрибутами подій логу. Факти і правила формуються на основі відповідних шаблонів. Атрибути задають значення властивостей об'єктів, з якими оперує бізнес-процес. Динамічні особливості бізнес-процесу визначаються через поточний розподіл ймовірностей виконання правил з урахуванням атрибутів поточної події логу бізнес-процесу. Запропонована модель відрізняється тим, що вона враховує обмеження на допустимі послідовності виконання дій бізнес-процесу, а також обмеження на основі апріорних знань про предметну область. Такі обмеження дозволить понизити складність задачі пошуку ймовірностей успішного завершення бізнес-процесу шляхом скорочення множини допустимих трас в тому випадку, якщо виконавці змінили послідовність дій. В практичному аспекті модель забезпечує можливість підтримки прийняття рішень з управління знання-ємними бізнес-процесами на основі прогнозування ймовірностей досягнення кінцевого стану процесу з урахуванням атрибутів подій логу.

Ключові слова: знання-ємні бізнес-процеси, база знань, системи процесного управління, контекст, артефакт, подія, атрибут, причинно-наслідкові зв'язки.

О. В. ЧАЛА**РАЗРАБОТКА ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЗНАНИЙ НА ОСНОВЕ МАРКОВСКИХ ЛОГИЧЕСКИХ СЕТЕЙ В СИСТЕМЕ ПРОЦЕССНОГО УПРАВЛЕНИЯ**

Исследована проблема построения представления знаний в системе процессного управления на основе анализа поведения бизнес-процессов, представленного в виде логов событий. Каждое событие характеризует действие бизнес-процесса. Актуальность проблемы определяется тем, что при управлении сложными знания-емкими бизнес-процессами исполнители могут изменять последовательность действий с учетом дополнительных знаний о предметной области. В результате возникает несоответствие между процессом и его моделью, что создает трудности для дальнейшего управления этим бизнес-процессом. Для устранения указанного несоответствия нужно формализовать использованные дополнительные знания и применить их при процессном управлении, что требует создания соответствующего представления знаний. Предложенная модель представления знаний учитывает статические и динамические характеристики бизнес-процесса. Статические характеристики бизнес-процесса задаются фактами и правилами с аргументами, представленными атрибутами событий логга. Факты и правила формируются на основе соответствующих шаблонов. Атрибути задают значения свойств объектов, с которыми оперирует бизнес-процесс. Динамические особенности бизнес-процесса определяются через текущее распределение вероятностей выполнения правил с учетом атрибутов текущего события логга бизнес-процесса. Предложенная модель отличается тем, что она учитывает ограничения на допустимые последовательности выполнения действий бизнес-процесса, а также ограничения на основе априорных знаний о предметной области. Такие ограничения позволят снизить сложность задачи поиска вероятностей успешного завершения бизнес-процесса путем сокращения множества допустимых трасс в том случае, если исполнители изменили последовательность действий. В практическом аспекте модель обеспечивает возможность поддержки принятия решений по управлению знания-емкими бизнес-процессами на основе прогнозирования вероятностей достижения конечного состояния процесса с учетом атрибутов событий логга.

Ключевые слова: знание-емкие бизнес-процессы, база знаний, системы процессного управления, контекст, артефакт, событие, атрибут, причинно-следственные связи

O. V. CHALA**DEVELOPMENT OF KNOWLEDGE REPRESENTATION BASED ON MARKOV LOGICAL NETWORKS IN THE BUSINESS PROCESS MANAGEMENT SYSTEM**

The problem of constructing knowledge representation in the process control system based on the analysis of the behavior of business processes, represented in the form of logs of events, is studied. Each event characterizes the action of the business process. The urgency of the problem is determined by the fact that when managing complex knowledge-capacious business processes, performers can change the sequence of actions taking into account additional knowledge about the subject area. As a result, there is a discrepancy between the process and its model, which creates difficulties for the further management of this business process. To eliminate this discrepancy, it is necessary to formalize the additional knowledge used and apply them in process management, which requires the creation of an appropriate knowledge representation. The proposed knowledge representation model takes into account the static and dynamic characteristics of the business process. The static characteristics of a business process are specified by facts and rules with arguments represented by the attributes of the log events. Facts and rules are formed on the basis of appropriate templates. Attributes specify the values of the properties of objects with which the business process operates. Dynamic features of the business process are determined through the current distribution of the probability that the rules will be executed, taking into account the attributes of the current business process log event. The proposed model is characterized by the fact that it takes into account the limitations on the permissible sequences of execution of the actions of the business process, as well as restrictions based on a priori knowledge of the subject area. Such restrictions will reduce the complexity of the problem of finding the probabilities of a successful completion of a business process by reducing the number of allowed trails in the event that the performers have changed the sequence of actions. In practical terms, the model provides the ability to support decision-making on the management of knowledge-intensive business processes based on predicting the probabilities of achieving the final state of the process, taking into account the attributes of log events.

Keywords: knowledge-intensive business processes, knowledge base, process management systems, context, artifact, event, attribute, cause-effect relationships

Вступ. Системи процесного управління призначені для управління підприємством шляхом розробки, уточнення та використання моделей бізнес-процесів (БП) [1]. Розвиток процесного підходу до управління привів до побудови гнучких знання-ємних бізнес-процесів. Особливість таких БП полягає в тому, що її виконавцями є knowledge workers, які можуть змінити хід виконання процесу на основі своїх персональних знань [2] у відповідності до поточного стану контексту та поточних цілей підприємства. Такі зміни призводять до неадекватності моделі БП, що потребує використання формалізованих знань для адаптації цієї моделі та підтримки прийняття рішень з процесного управління. Інформація про поведінку кожного екземпляру бізнес-процесу за результатами моніторингу записується в логах (журналах) подій БП. Зазначене свідчить про актуальність розробки такого представлення знань інформаційної системи процесного управління, яке забезпечувало б можливості автоматизованого виявлення знань на основі аналізу логів БП.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Традиційні підходи інженерії знань, що використовують етап виявлення причинно-наслідкових залежностей у вербальній формі при проведенні інтерв'ю з експертами, пов'язані із значними витратами часу. Це значно звужує сферу застосування таких методів при побудові баз знань для систем управління, оскільки вони функціонують у реальному часі.

В останні роки інтенсивно розвиваються методи автоматизованої побудови баз знань на основі обробки великих масивів даних [3–10]. Головна ідея даної парадигми полягає у виявленні шаблонів причинно-наслідкових залежностей у великих базах даних (БД), доступних у мережі Інтернет, та подальшому формуванні елементів бази знань шляхом підстановки даних із БД у отримані шаблони. Однак вказані підходи мають суттєвий недолік, що створює труднощі при використанні їх для систем процесного управління: вони орієнтовані на побудову статичних залежностей, без врахування темпоральної складової.

Однак для забезпечення підтримки управлінських рішень потрібно регулярно оновлювати базу знань системи процесного управління синхронно з ходом виконання відповідних бізнес-процесів та зміною стану предметної області [11, 12].

Метою даної статті є розробка моделі представлення знань в інформаційній системі процесного управління, яка забезпечувала б можливості побудови бази знань на основі аналізу поведінки бізнес-процесів, представленої у відповідних логах подій.

Для досягнення поставленої мети необхідно поєднати логічний опису предметної області, що характеризує статичний аспект бізнес-процесу, та ймовірнісний опис послідовності дій бізнес-процесу, що характеризує його динамічний аспект.

Модель представлення знань. Запропонована модель представлення знань відповідає парадигмі марковських логічних мереж та містить у собі логічну та ймовірнісну складові.

Логічна складова моделі задається у вигляді зважених наборі логічних фактів та правил, аргументами яких є властивості артефактів контексту виконання дій бізнес-процесу:

$$KB_L = \{(f_i(\{af_k\}), w_i), \{(r_j(\{f_i\}), w_j), \{af_k\}\} | C\}, \quad (1)$$

де f – логічний факт, що свідчить про стан артефактів у предметній області;

af_k – артефакт контексту виконання бізнес-процесу (об'єкт, з яким взаємодіє БП);

w_i – вага логічного факту f_i ;

r_j – правило, що пов'язує між собою логічні факти у відповідності послідовності виконання дій БП;

w_j – вага правила r_j , $0 \leq w_j \leq \infty$ що визначає суттєвість представлених правилом умов та обмежень при виконанні бізнес-процесу.

C – апріорні обмеження на виконання БП, що відображають загальні знання про предметну область.

Зазначимо, що під артефактом зазвичай розуміють об'єкти, з якими оперує бізнес-процес.

Логічна складова наведеної моделі має вигляд графу, кожна вершина якого відповідає факту або правилу. Значення вершини є бінарним та визначається після підстановки значень властивостей артефактів у відповідні факти та правила.

Логічні факти та правила задаються формулами логіки і тому можуть бути розглянуті як обмеження на множину можливих станів та дій бізнес-процесу. Кожній формулі призначається вага, яка встановлює важливість цих обмежень. Чим більша вага, тим більш жорсткими є обмеження відповідного факту або правила. При максимальній вазі ∞ бізнес-процес повинен обов'язково задовольняти визначені фактом або правилом обмеження. Зміну значення ваги доцільно використовувати для визначення контекстних обмежень.

Однак у темпоральному аспекті, при визначенні обмежень на послідовність дій, доцільно визначити окрему підмножину правил $\{r_k\} \in R$. Якщо існує підмножина правил $\{r_k\}$, які виконуються на всіх відомих трасах P_v логу бізнес-процесу, то ці правила задають підмножину допустимих нових трас P_n .

Дане обмеження означає, що в представленій множиною відомих та ймовірних нових трас моделі П повинні виконуватись всі правила r_k :

$$\forall k \in P | r_k, P = P_v \cup P_n, \quad (2)$$

де f – логічний факт, що свідчить про стан артефактів у предметній області;

af_k – артефакт контексту виконання бізнес-процесу (об'єкт, з яким взаємодіє БП);

При управлінні знання-ємними бізнес-процесами виконавці можуть змінювати порядок дій з метою підвищення ефективності виконання БП, тим самим

порушуючи логічні обмеження. Обмеження (2) дозволить понизити розмірність задачі пошуку ймовірностей успішного завершення бізнес-процесу в тому випадку, якщо виконавці змінили послідовність дій. Без цих обмежень в процесі пошуку траса логічного бізнес-процесу може бути скомпонована із усіх відомих подій в довільній послідовності. В результаті виникає множина неадекватних трас, які теж потрібно обробляти в процесі пошуку рішення.

В цілому, з урахування елементів представлення знань (1), для адаптації та удосконалення ЗБП необхідно пом'якшити всі інші обмеження, забезпечивши тим самим можливість знайти більш ефективні шляхи реалізації бізнес-процесу.

Апарат марківських логічних мереж дає можливість пом'якшити обмеження на поведінку БП за рахунок використання ймовірнісної складової. Чим частіше порушуються встановлені обмеження при виконанні бізнес-процесу, тим менш ймовірною буде відповідна формула. У випадку частого порушення логічних обмежень відповідні факти та правила в базі знань матимуть меншу, але відмінну від нуля ймовірність. В результаті в моделі бізнес-процесу будуть (хоч і з невеликою ймовірністю) враховані альтернативні варіанти поведінки бізнес-процесу.

Поведінка бізнес-процесу фіксується в його журналі подій. Кожна подія журналу характеризує стан процесу після виконання відповідної дії бізнес-процесу і тому характеризується різними значеннями атрибутів артефактів (тобто різними властивостями). Відповідно, логічні факти можуть відрізнятися для аналогічних подій з різних трас логічного процесу. Під аналогічними ми розуміємо такі події, що фіксують виконання однакових дій для різних екземплярів бізнес-процесів, тобто на різних трасах логічного процесу.

Тому логічна модель, у відповідності до парадигми марківських логічних мереж, виступає в якості шаблону для побудови ймовірнісної складової. Остання представлена марківським випадковим полем (марківською мережею).

Марківське випадкове поле (марківська мережа) характеризується марківською властивістю, у відповідності до якої майбутній стан системи залежить від її поточного стану та не залежить від подій, які привели систему до поточного стану. Ця властивість відображена у журналі бізнес-процесу у вигляді послідовності подій, причому для кожної події задаються атрибути, що відображають стан контексту на момент виконання відповідної дії бізнес-процесу. Атрибути кожної події повністю відповідають атрибутам артефактів контексту.

Марківська мережа традиційно розглядається як модель для спільного розподілу множини змінних (атрибутів подій логічного бізнес-процесу) у вигляді ненаправленого графу, а також множини факторів. Однаковий набір атрибутів пов'язаний з кожною подією, тому фактор може бути визначений на множині (або підмножині) цих атрибутів, або як функція від їх стану. Значення фактору задається позитивним раціональним числом.

Марківське випадкове поле для логічного бізнес-процесу моделює спільний розподіл множини атрибутів A подій логічного процесу, які одночасно є атрибутами артефактів, що задають їх властивості:

$$A = \{A_i\}, A_i = \{a_j | \exists af = \{a_n\} \wedge a_j = a_n\}, \quad (3)$$

де A_i – підмножина атрибутів для подій однієї a_i – атрибут події логічного процесу;
 af – артефакт бізнес-процесу;
 a_n – атрибут артефакту бізнес-процесу.

Відображення марківської логічної мережі на марківську мережу здійснюється таким чином:

– кожен логічний факт f_i відображається у вершину марківської мережі, тобто двійкові значення предикатів марківської логічної мережі є значеннями вершин марківської мережі;

– логічний факт $f_i(\{af_k\})$ приймає істинне значення лише для одного набору значень атрибутів артефактів, для всіх інших можливих наборів властивостей значення цього логічного факту становить 0;

– дуга між вершинами марківської мережі існує в тому випадку, якщо логічні факти мають спільну підмножину аргументів, що створює можливості для логічного виводу з урахуванням умовних ймовірностей відповідних фактів.

– правила виводу r_j відображаються на фактори харківській мережі.

Ймовірнісний розподіл множини значень атрибутів для всіх можливих реалізацій бізнес-процесу, кожна з яких визначається відображена окремою трасою логічного процесу, має такий вигляд:

$$P(A = \alpha) = \frac{1}{Z} \prod_m \phi_m(F_m), \quad (4)$$

де ϕ_m – фактор-функція, аргументом якої є підмножина логічних фактів над випадковими змінними, між якими є причинно-наслідкові зв'язки;

α_k – значення атрибуту артефакту af_k ;

F_m – підмножина f_i

Z – функція розбиття, яка використовується для нормалізації добутку факторів.

Із виразу (3) видно, що сукупність факторів $\Phi = \{\phi_1, \dots, \phi_m, \dots, \phi_{|Q|}\}$ визначає спільний розподіл на векторі логічних фактів F бізнес-процесу. З позицій процесного управління такий розподіл задає ймовірність кожної траси, або окремих дій бізнес-процесу.

Кожний фактор ϕ_m у відповідності через правила визначається таким чином:

$$\phi_m(F_m) = e^{w_j r_j(\{f_i\})}, \quad (5)$$

де w_j – вага правила r_j .

Ймовірнісний розподіл для можливих реалізацій бізнес-процесу відобразимо з урахуванням зваженої суми правил виконання дій у відповідності до концепції марківських логічних мереж, а також з урахуванням обмежень, що задають введені на основі аналізу логічних правила:

$$P(A = \{\alpha_k^t\} | \forall k \Pi = r_k) = \frac{1}{Z} \exp \left(\sum_j w_j r_j(\{f_i\}) \right). \quad (6)$$

Розподіл (6) задає ймовірності для можливих варіантів подальшого виконання бізнес-процесу щодо поточного стану контексту. Цей стан визначається підмножиною логічних фактів f_i з поточними значеннями атрибутів подій БП $\{\alpha_k\}$ в якості аргументів.

Таким чином, ймовірнісний аспект представлення знань задається через правила виконання дій бізнес-процесу. Тобто ймовірність виконання окремої дії при заданих контекстних умовах залежить від ваги правил r_j та кількості виконаних правил на поточний момент реалізації бізнес-процесу, а також наявності обмежень r_k . Кількість виконаних правил може бути більше одиниці у випадку розпаралелювання дій БП.

Модель представлення знань у інформаційній системі процесного управління, що поєднує логічний опис та ймовірнісну складову, має такий вигляд:

$$\begin{aligned} KB_{L,P} = & \{Af, \{(f_i(Af), w_i)\}, \\ & \{(r_j(F), w_j)\}, \\ & P(A = \{\alpha_k^t\} | \forall k \Pi = r_k) | C, \}, \end{aligned} \quad (7)$$

де Af – множина атрибутів;

F – множина логічних фактів;

α_k^t – значення властивості артефакту в момент часу t запису події до логу бізнес-процесу.

Запропонована модель відрізняється від існуючих тим, що вона враховує обмеження в темпоральному аспекті, тобто обмеження на допустимі послідовності виконання дій бізнес-процесу, а також обмеження на основі апріорних знань про предметну область. Статичні характеристики бізнес-процесу задаються фактами та правилами із аргументами, представленими атрибутами подій логу. Динамічні особливості БП визначаються через поточний розподіл ймовірностей виконання правил з урахуванням атрибутів поточної події логу бізнес-процесу.

Модель забезпечує умови для підтримки прийняття рішень з управління знання-ємними бізнес-процесами паралельно з виконанням бізнес-процесів на основі ймовірнісного виводу в базі знань.

Представлена модель створює умови для прогнозування поведінки бізнес-процесу в реальному часі відносно поточного стану. Тобто ймовірність логічних фактів у майбутньому залежить від ймовірності виконання тих чи інших дій бізнес-процесу, а ймовірність виконання дій при заданому поточному стані залежить від w_j .

Для того, щоб спрогнозувати ймовірність досягнення бажаного стану в майбутньому, необхідно повторити обчислення (6) після виконання кожного правила. Тоді послідовність виконання бізнес-процесу ми можемо представити як послідовність обчислення розподілу ймовірностей факторів для заданого стану БП. Це дозволяє вирішити задачу прогнозування найбільш ймовірної поведінки бізнес-процесу в тому випадку, якщо поточний стан непередбачувано змінився внаслідок того, що виконавці змінили послідовність дій.

Відзначимо, що в загальному випадку ймовірність виконання правила в ході реалізації бізнес-процесу залежить від ймовірності виконання логічного факту як функції від атрибутів подій. Однак цей показник можна врахувати при шляхом уточнення ваги правила при зміні множині подій логу.

Також поява в складі логу нових подій потребує уточнити поточний стан предметної області, тобто множину логічних фактів. Поява нових логічних фактів у відповідності до (5) дозволяє підставити аргументи у правила і тим самим доповнити фактор-граф.

Цикл поповнення та використання знань у відповідності до характеристик моделі представлення знань (6) передбачає доповнення множини логічних фактів після запису нових подій до логу та відповідного уточнення ваг логічних правил. Поява нових логічних фактів дає можливість доповнити фактор-граф залежностями між цими новими фактами. Далі розширений фактор-граф використовується для прогнозування ймовірностей подальших дій бізнес-процесу. Вказаний прогноз з одного боку дає можливість виявити аномальну поведінку БП, а з іншого перевірити досяжність кінцевого стану (кінцевих дій) процесу.

В тому випадку, якщо останні записані в лог дії відповідають існуючій моделі БП, то розподіл ймовірностей для подальших дій процесу буде відповідати його записаним до логу трасам. Якщо ж співробітники змінили послідовність дій, то розподіл свідчитиме про аномальну поведінку даного екземпляру бізнес-процесу – тобто буде невідповідність до відомих трас.

На основі отриманого розподілу ОПР може прийняти рішення про адаптацію моделі бізнес-процесу, уточнення її конфігурації або доповнення переліку бізнес-правил. Результати змін у моделі будуть відображені новими подіями у складі логу бізнес-процесу. Дана модель реалізується засобами реляційної СУБД. Для представлення знань використовуються, зокрема, таблиці, що містять атрибути подій, класи артефактів; відношення між властивостями артефактів, логічні факти; правила запуску дій бізнес-процесу.

Висновки. Розглянуто проблему побудови представлення знань в системі процесного управління. Показано, що представлення знань повинно забезпечувати можливість виявлення залежностей на основі аналізу записів про поведінку бізнес-процесу, представлену його логом (журналом подій).

Запропоновано модель представлення знань, що враховує стан контексту, а також послідовність виконання дій бізнес-процесу. Стан контексту виконання

дій визначається через набір зважених логічних фактів. Послідовність виконання дій в кожний момент часу визначається через ймовірнісний розподіл правил виконання дій бізнес-процесу, що задовольняють обмеженням на допустимі послідовності виконання дій бізнес-процесу, а також обмеженням, сформованим на основі апіорних знань про предметну область.

В практичному аспекті модель забезпечує можливість підтримки прийняття рішень з управління знання-ємними бізнес-процесами на основі прогнозування ймовірностей досягнення кінцевого стану процесу з урахуванням атрибутів занесених до логу подій.

Список літератури

1. Van Der Aalst W. M. P. Business Process Management: A Comprehensive Survey. *ISRN Software Engineering*. 2013. P. 1–37.
2. Gronau N. *Modeling and Analyzing knowledge intensive business processes with KMDL: Comprehensive insights into theory and practice*. Gito, 2012. 522 p.
3. Nakashole N., Weikum G. Real-time Population of Knowledge Bases: Opportunities and Challenges. *Proceedings of the Joint Workshop on Automatic Knowledge Base Construction and Web-scale Knowledge Extraction (AKBC-WEKEX 2012)*. Montreal, Canada, 2012. P. 41–45.
4. Reiss F., Raghavan S., Krishnamurthy R., Zhu H., Vaithyanathan S. An Algebraic Approach to Rule-Based Information Extraction. *24th International Conference on Data Engineering*, 2008. P. 933–942.
5. Gribko E., Suciu D. SlimShot: In-database Probabilistic Inference for Knowledge Bases. *International Conference on Very Large Data Bases*. Vol. 9(7). New Delhi, India, 2016. P. 552–563.
6. Gal'arraga L., Heitz G., Murphy K., Suchanek F. M. Canonicalizing Open Knowledge Bases. *CIKM '14 2014 ACM Conference on Information and Knowledge Management*. Shanghai, China, 2014.. P. 1679–1688.
7. Dylla M., Theobald M., Miliaraki I. Querying and Learning in Probabilistic Databases. *Reasoning Web*. 2014. P. 313–368.
8. Bollacker K., Evans C., Paritosh P., Sturge T., Taylor J. Freebase: A Collaboratively Created Graph Database for Structuring Human Knowledge. *ACM SIGMOD International Conference on Management of Data*. Vancouver, BC, Canada, 2008. P. 1247–1250.
9. S., Wu F., Wang C., De Sa C. Zhang C, R'e C. Incremental Knowledge Base Construction Using DeepDive. *41 st International Conference on Very Large Data Bases (VLDB)*. 2015. Vol. 8(11). P. 1310–1321.
10. Niu F., Zhang C., Re C., Shavlik J. W. DeepDive: Web-scale Knowledge-base Construction using Statistical Learning and Inference. *VLDS*. 2012. P. 25–28.
11. Чала О.В. Принцип та метод еволюційної побудови бази знань на основі аналізу логів ІС процесного управління. *Науково-технічний журнал «Біоніка інтелекту»*. Харків, ХНУРЕ, 2017, № 1(88). С. 80–84.
12. Леви́кін В. М., Чала О.В. Модель бази знань інформаційної системи процесного управління. *Вісник НТУ «ХПІ»*. Харків, НТУ «ХПІ», 2017. № 28 (1250). С. 74–78.
13. Чала О.В. Еволюційний підхід до управління життєвим циклом знання-ємних бізнес-процесів. *Наукоємні технології*. 2017, № 1 (33). С. 53–59.

References (transliterated)

1. Van Der Aalst W. M. P. Business Process Management: A Comprehensive Survey. *ISRN Software Engineering*. 2013. pp. 1–37.
2. Gronau N. *Modeling and Analyzing knowledge intensive business processes with KMDL: Comprehensive insights into theory and practice*. Gito, 2012. 522 p.
3. Nakashole N., Weikum G. Real-time Population of Knowledge Bases: Opportunities and Challenges. *Proceedings of the Joint Workshop on Automatic Knowledge Base Construction and Web-scale Knowledge Extraction (AKBC-WEKEX 2012)*. Montreal, Canada, 2012, pp. 41–45.
4. Reiss F., Raghavan S., Krishnamurthy R., Zhu H., Vaithyanathan S. An Algebraic Approach to Rule-Based Information Extraction. *24th International Conference on Data Engineering*, 2008, pp. 933–942.
5. Gribko E., Suciu D. SlimShot: In-database Probabilistic Inference for Knowledge Bases. *International Conference on Very Large Data Bases*. Vol. 9(7). New Delhi, India, 2016, pp. 552–563.
6. Gal'arraga L., Heitz G., Murphy K., Suchanek F. M. Canonicalizing Open Knowledge Bases. *CIKM '14 2014 ACM Conference on Information and Knowledge Management*. Shanghai, China, 2014, pp. 1679–1688.
7. Dylla M., Theobald M., Miliaraki I. Querying and Learning in Probabilistic Databases. *Reasoning Web*. 2014, pp. 313–368.
8. Bollacker K., Evans C., Paritosh P., Sturge T., Taylor J. Freebase: A Collaboratively Created Graph Database for Structuring Human Knowledge. *ACM SIGMOD International Conference on Management of Data*. Vancouver, BC, Canada, 2008, pp. 1247–1250.
9. Shin S., Wu F., Wang C., De Sa C. Zhang C, R'e C. Incremental Knowledge Base Construction Using DeepDive. *41 st International Conference on Very Large Data Bases (VLDB)*. 2015. Vol. 8(11), pp. 1310–1321.
10. Niu F., Zhang C., Re C., Shavlik J. W. DeepDive: Web-scale Knowledge-base Construction using Statistical Learning and Inference. *VLDS*, 2012, pp. 25–28.
11. Chala O.V. Pryntsyp ta metod evoliutsiinoi pobudovy bazy znan' na osnovi analizu logiv IS protsesnogo upravlinnia [Development of knowledge base after results of analysis of the logs of the process management information system]. *Naukovo-tehnichnyi zhurnal «Bionika intelektu»* [Scientific and Technical Journal "Bionics of Intellect"]. Kharkiv, NURE, 2017, no. 1(88), pp. 80–84.
12. Levykin V.M., Chala O.V. Model bazy znan informatsiinoi systemy protsesnogo upravlinnia [Model of the knowledge base of the process management Information system]. *Visnyk NTU «KhPI»* [Bulletin of the National Technical University "KhPI"]. Kharkov, NTU "KhPI" Publ., 2017, no.28 (1250), pp. 74-78.
13. Chala O.V. Evoliutsiinyi pidhid do upravlinnia zhyttievym tsyklom znannia-yemnykh biznes-protseviv [Evolutionary approach to lifecycle management of knowledge-intensive business processes]. *Naukoiemni tekhnolohii* [Knowledge-based technologies]. Kiev, NAU, 2017, no. 1(33), pp. 53-59.

Надійшла (received) 05.05.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Чала Оксана Вікторівна (Chalaya Oksana Viktorovna, Chala Oksana Viktorivna) – кандидат економічних наук, доцент, Харківський національний університет радіоелектроніки, доцент кафедри інформаційних управляючих систем, м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8265-2480>; e-mail: oksana.chala@nure.ua